



# (12)发明专利

(10)授权公告号 CN 105915318 B

(45)授权公告日 2017.04.26

(21)申请号 201610230588.9

H04B 7/02(2017.01)

(22)申请日 2016.04.14

H04B 7/0456(2017.01)

(65)同一申请的已公布的文献号

审查员 李泽昆

申请公布号 CN 105915318 A

(43)申请公布日 2016.08.31

(73)专利权人 西安交通大学

地址 710049 陕西省西安市碑林区咸宁西路28号

(72)发明人 高贞贞 程度活 廖学文

(74)专利代理机构 西安通大专利代理有限责任公司 61200

代理人 陆万寿

(51)Int.Cl.

H04L 1/06(2006.01)

H04L 1/00(2006.01)

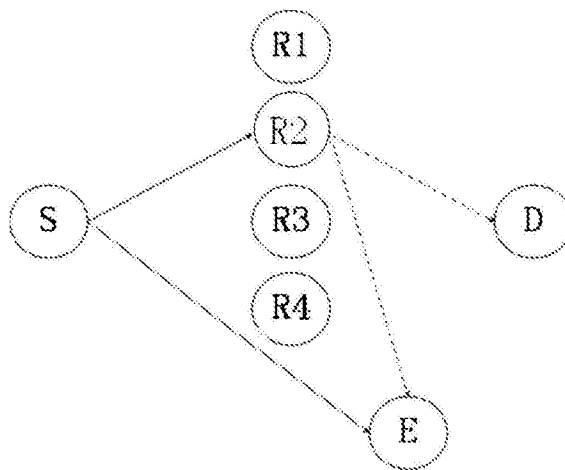
权利要求书1页 说明书5页 附图2页

## (54)发明名称

一种基于空间调制的伪中继选择安全传输方法

## (57)摘要

本发明公开了一种基于空间调制的伪中继选择安全传输方法,包括以下步骤:源节点将空间调制比特与符号调制比特进行异或运算,得伪空间调制比特,再进行循环冗余校验,得调制符号,然后对调制符号进行预编码,再广播到激活中继中;3)激活中继接收源节点发送过来的调制符号,并对信号星座图进行旋转,再选取星座符号,并对星座符号进行预编码,然后再将预编码后的星座符号发送给目的节点;4)目的节点采用最大似然译码进行译码,得符号调制比特及伪空间调制比特,再进行异或运算,得空间调制比特,然后将空间调制比特与符号调制比特进行组合,得源节点发送的数据比特。本发明能够实现信息在分布式多中继系统的物理层的安全传输。



1. 一种基于空间调制的伪中继选择安全传输方法,其特征在于,包括以下步骤:

1) 在信息传输开始时,中继节点和目的节点依次广播训练序列,使源节点、中继节点及目的节点估计得到源节点-中继节点的信道信息 $h_{SR_k}$ 及中继节点-目的节点之间的信道信息 $h_{R_kD}$ ;

2) 源节点将待发送数据比特分为两个部分,其中,第一部分数据比特为符号调制比特,第二部分数据比特为空间调制比特,并将空间调制比特与符号调制比特进行异或运算,得伪空间调制比特,再将伪空间调制比特转换为十进制数 $k$ ,并选择中继节点中的第 $k$ 个中继为激活中继,源节点将符号调制比特与伪空间调制比特进行循环冗余校验,得调制符号,然后再根据源节点与激活中继之间的信道信息对调制符号进行预编码,再将预编码后的调制符号广播到激活中继中;

3) 激活中继接收源节点发送过来的调制符号,并根据自身的序号 $k$ 对信号星座图进行旋转,再根据所述调制符号在旋转后的信号星座图中选取星座符号,并通过激活中继与目的节点之间的信道对星座符号进行预编码,然后再将预编码后的星座符号发送给目的节点;

4) 目的节点接收激活中继发送过来的信号,并采用最大似然译码进行译码,得符号调制比特及伪空间调制比特,然后将得到的符号调制比特与伪空间调制比特进行异或运算,得空间调制比特,然后将空间调制比特与符号调制比特进行组合,得源节点发送的数据比特,完成数据比特的安全传输。

2. 根据权利要求1所述的基于空间调制的伪中继选择安全传输方法,其特征在于,步骤3)中信号星座图进行旋转的旋转角度 $\theta_k$ 表达式为:

$$\theta_k = \frac{2k\pi}{MN_r}。$$

其中, $M$ 为调制阶数, $N_r$ 为中继个数, $k$ 为被激活的中继序号。

3. 根据权利要求1所述的基于空间调制的伪中继选择安全传输方法,其特征在于,步骤4)中目的节点接收到的信号 $y_{R_kD}$ 为:

$$y_{R_kD} = \sqrt{p} h_{R_kD} h_{R_kD}^{-1} x_m e^{j\theta_k} + w_D \quad (3)$$

其中,激活中继的发送功率与源节点的发送功率相同, $h_{R_kD}^{-1}$ 为步骤2)中的预编码, $h_{R_kD}$ 和 $w_D$ 分别为中继节点与目的节点之间的信道和高斯白噪声。

4. 根据权利要求1所述的基于空间调制的伪中继选择安全传输方法,其特征在于,目的节点通过译码器采用最大似然译码进行译码,得到估计的调制符号 $\hat{x}_D$ 和中继序号 $\hat{k}$ ,其中译码器为:

$$\langle \hat{x}_D, \hat{k} \rangle = \arg \min_{k,x} \left| y_{R_kD} - \sqrt{p} x e^{j\theta_k} \right|^2 \quad (6)。$$

## 一种基于空间调制的伪中继选择安全传输方法

### 技术领域

[0001] 本发明属于分布式中继系统的物理层安全技术领域,涉及一种基于空间调制的伪中继选择安全传输方法。

### 背景技术

[0002] 空间调制是近年来无线通信领域比较热门的方向,相比于传统的MIMO技术,它能减少射频链路,提供更高的能量效率和频谱效率。空间调制的主要思想是在利用传统的调制方式M-PSK/QAM传输比特信息之外,还利用天线携带比特信息。已有较多的研究表明,空间调制的性能好于一些传统的MIMO性能,比如空间调制具有较简易的接收机,较高的传输速率。

[0003] 分布式中继技术与空间调制结合已吸引了越来越多的关注。协作协议能够使两个不能直接通信的节点进行通信,并且使单天线节点作为分布式天线的一部分从而获得MIMO系统的优势。空间调制与协作技术的结合,能克服协作协议中的一些缺陷,比如信息延迟,增大吞吐量等。然而,对于二者结合的安全性问题,却缺少研究。物理层安全作为传统安全的一个重要补充,能给系统提供安全。现在已有的针对空间调制的物理层安全研究,都是对于传统的三节点系统,比如北京邮电大学的王莉提出的利用人工噪声,能够提高空间调制系统的安全速率,西安交通大学的吴飞龙提出的利用PSM技术实现系统的物理层安全等等。这些方法仅适用于三节点系统,对于基于空间调制的分布式多中继系统并不适用,所以对于基于空间调制的分布式多中继系统的物理层安全研究是很有必要的。

### 发明内容

[0004] 本发明的目的在于克服上述现有技术的缺点,提供了一种基于空间调制的伪中继选择安全传输方法,该方法能够实现信息在分布式多中继系统的物理层的安全传输。

[0005] 为达到上述目的,本发明所述的基于空间调制的伪中继选择安全传输方法包括以下步骤:

[0006] 1) 在信息传输开始时,中继节点和目的节点依次广播训练序列,使源节点、中继节点及目的节点估计得到源节点-中继节点的信道信息 $h_{SR_k}$ 及中继节点-目的节点之间的信道信息 $h_{R_kD}$ ;

[0007] 2) 源节点将待发送数据比特分为两个部分,其中,第一部分数据比特为符号调制比特,第二部分数据比特为空间调制比特,将空间调制比特与符号调制比特进行异或运算,得伪空间调制比特,再将伪空间调制比特转换为十进制数 $k$ ,并选择中继节点中的第 $k$ 个中继为激活中继,源节点将符号调制比特与伪空间调制比特进行循环冗余校验,得调制符号,然后再根据源节点与激活中继之间的信道信息对调制符号进行预编码,再将预编码后的调制符号广播到激活中继中;

[0008] 3) 激活中继接收源节点发送过来的调制符号,并根据自身的序号 $k$ 对信号星座图

进行旋转,再根据所述调制符号在旋转后的信号星座图中选取星座符号,并通过激活中继与目的节点之间的信道对星座符号进行预编码,然后再将预编码后的星座符号发送给目的节点;

[0009] 4) 目的节点接收激活中继发送过来的信号,并采用最大似然译码进行译码,得符号调制比特及伪空间调制比特,然后将得到的符号调制比特与伪空间调制比特进行异或运算,得空间调制比特,然后将空间调制比特与符号调制比特进行组合,得源节点发送的数据比特,完成数据比特的安全传输。

[0010] 步骤3) 中激活中继接收到的信号为:

$$[0011] \quad y_{SR_i} = \sqrt{p} h_{SR_i} h_{SR_k}^{-1} x_m + w_{SR_i} \quad (1)$$

$$[0012] \quad y_{SE} = \sqrt{p} h_{SE} h_{R_k}^{-1} x_m + w_{SE} \quad (2)$$

[0013] 其中,p为发送功率, $h_{AB}$ 为源节点A到中继节点B的信道, $h_{SR_k}^{-1}$ 为广播过程中的预编码, $x_m$ 为符号调制比特选择的调制符号, $w_{AB}$ 为源节点A到中继节点B的高斯白噪声, $w_{AB}$ 服从零均值、方差为 $\sigma^2$ 的分布。

[0014] 步骤3) 中信号星座图进行旋转的旋转角度 $\theta_k$ 表达式为:

$$[0015] \quad \theta_k = \frac{2k\pi}{MN_R}。$$

[0016] 其中,M为调制阶数, $N_R$ 为中继个数,k为被激活的中继序号。

[0017] 步骤4) 中目的节点接收到的信号 $y_{R_kD}$ 为:

$$[0018] \quad y_{R_kD} = \sqrt{p} h_{R_kD} h_{R_kD}^{-1} x_m e^{j\theta_k} + w_D \quad (3)$$

[0019] 其中,激活中继的发送功率与源节点的发送功率相同, $h_{R_kD}^{-1}$ 为步骤2) 中的预编码, $h_{R_kD}$ 和 $w_D$ 分别为中继节点与目的节点之间的信道和高斯白噪声。

[0020] 目的节点通过译码器采用最大似然译码进行译码,得到估计的调制符号 $\hat{x}_D$ 和中继序号 $\hat{k}$ ,其中译码器为:

$$[0021] \quad \langle \hat{x}_D, \hat{k} \rangle = \arg \min_{k,x} \left| y_{R_kD} - \sqrt{p} x e^{j\theta_k} \right|^2 \quad (6)。$$

[0022] 本发明具有以下有益效果:

[0023] 本发明所述的基于空间调制的伪中继选择安全传输方法在具体操作时,通过将待发送数据比特与伪空间调制比特进行循环冗余校验,得调制符号,然后根据源节点与激活中继之间的信道信息对调制信号进行预编码,从而有效的提高在分布式多中继系统的物理层中传输的安全性。同时激活中继通过对星座图进行旋转获取星座符号,在不影响目的节点解码的同时使得窃听节点不能正确译码,达到防止窃听节点进行窃听的目的,目的节点通过最大似然译码进行译码,得到符号调制比特与伪空间调制比特,然后通过异或运算得到空间调制比特,再将空间调制比特与符号调制比特进行组合,得到源节点发送的数据比

特,实现信息在分布式多中继系统的物理层的安全传输。在有窃听节点存在的基于空间调制的分布式多中继系统中,本发明中的源节点和目的节点无需任何保密协商就能利用中继节点的帮助进行安全通信,同时不会泄露传输的信息比特,经仿真,本发明能够有效的抵制窃听节点的窃听,使得窃听节点处的误比特率高于目的节点,窃听节点的误码率约为0.5。

### 附图说明

[0024] 图1为本发明的系统图;

[0025] 图2为情况1中本发明中的目的节点和窃听节点的误比特率曲线;

[0026] 图3为情况2中本发明中的目的节点和窃听节点的误比特率曲线。

### 具体实施方式

[0027] 下面结合附图对本发明做进一步详细描述:

[0028] 参考图1,本发明所述的基于空间调制的伪中继选择安全传输方法包括以下步骤:

[0029] 1) 在信息传输开始时,中继节点和目的节点依次广播训练序列,使源节点、中继节点及目的节点估计得到源节点-中继节点的信道信息 $h_{SR_k}$ 及中继节点-目的节点之间的信道信息 $h_{R_kD}$ ;

[0030] 2) 源节点将待发送数据比特分为两个部分,其中,第一部分数据比特为符号调制比特,第二部分数据比特为空间调制比特,将空间调制比特与符号调制比特进行异或运算,得伪空间调制比特,再将伪空间调制比特转换为十进制数k,并选择中继节点中的第k个中继为激活中继,源节点将符号调制比特与伪空间调制比特进行循环冗余校验,得调制符号,然后再根据源节点与激活中继之间的信道信息对调制符号进行预编码,再将预编码后的调制符号广播到激活中继中;

[0031] 3) 激活中继接收源节点发送过来的调制符号,并根据自身的序号k对信号星座图进行旋转,再根据所述调制符号在旋转后的信号星座图中选取星座符号,并通过激活中继与目的节点之间的信道对星座符号进行预编码,然后再将预编码后的星座符号发送给目的节点;

[0032] 4) 目的节点接收激活中继发送过来的信息,并采用最大似然译码进行译码,得符号调制比特及伪空间调制比特,然后将得到的符号调制比特与伪空间调制比特进行异或运算,得空间调制比特,然后将空间调制比特与符号调制比特进行组合,得源节点发送的数据比特,完成数据比特的安全传输。

[0033] 步骤3)中激活中继接收到的信号为:

$$[0034] \quad y_{SR_i} = \sqrt{p} h_{SR_i} h_{SR_k}^{-1} x_m + w_{SR_i} \quad (1)$$

$$[0035] \quad y_{SE} = \sqrt{p} h_{SE} h_{R_k}^{-1} x_m + w_{SE} \quad (2)$$

[0036] 其中,p为发送功率, $h_{AB}$ 为源节点A到中继节点B的信道, $h_{SR_k}^{-1}$ 为广播过程中的预编码, $x_m$ 为符号调制比特选择的调制符号, $w_{AB}$ 为源节点A到中继节点B的高斯白噪声, $w_{AB}$ 服从零

均值、方差为 $\sigma^2$ 的分布。

[0037] 步骤3) 中信号星座图进行旋转的旋转角度 $\theta_k$ 表达式为:

$$[0038] \quad \theta_k = \frac{2k\pi}{MN_R}。$$

[0039] 其中,  $M$ 为调制阶数,  $N_R$ 为中继个数,  $k$ 为被激活的中继序号。

[0040] 步骤4) 中目的节点接收到的信号 $y_{R_kD}$ 为:

$$[0041] \quad y_{R_kD} = \sqrt{p} h_{R_kD} h_{R_kD}^{-1} x_m e^{j\theta_k} + w_D \quad (3)$$

[0042] 其中, 激活中继的发送功率与源节点的发送功率相同,  $h_{R_kD}^{-1}$ 为步骤2) 中的预编码,  $h_{R_kD}$ 和 $w_D$ 分别为中继节点与目的节点之间的信道和高斯白噪声。

[0043] 目的节点通过译码器采用最大似然译码进行译码, 得到估计的调制符号 $\hat{x}_D$ 和中继序号 $\hat{k}$ , 其中译码器为:

$$[0044] \quad \langle \hat{x}_D, \hat{k} \rangle = \arg \min_{k,x} \left| y_{R_kD} - \sqrt{p} x e^{j\theta_k} \right|^2 \quad (6)。$$

[0045] 当存在窃听节点时, 只能得到与自身相关的信道信息 $h_{R_kE}$ , 它并不知道第一阶段的自身信道状态信息, 激活中继发送信号至目的节点的过程中, 窃听节点接收到的信号 $y_{R_kE}$ 为

$$[0046] \quad y_{R_kE} = \sqrt{p} h_{R_kE} h_{R_kD}^{-1} x_m e^{j\theta_k} + w_{R_kE} \quad (4)$$

[0047] 其中,  $w_{R_kE}$ 为激活中继 $R_k$ 和窃听节点之间的高斯白噪声。

[0048] 不同中继之间的信道是独立的, 因此每个中继只能知道本地信道信息且没有信息共享, 设窃听节点有多根天线, 能对接收信号的到达角进行估计, 从而区分出激活中继, 并获得激活中继的序号, 该序号对应的比特为符号调制比特与空间调制比特异或的结果, 只要窃听节点无法解码出星座符号, 那么它即使知道激活中继的序号, 也不能获得源节点的信息, 假设源节点和中继节点的发送功率相同, 窃听节点只知道与自身相关的信道, 对接收到的两阶段的信号进行联合最大似然译码, 译码式为:

$$[0049] \quad \hat{x}_E = \arg \min_{k,x} \left\{ \left| y_{SE} - \sqrt{p} H_{ran} H_{ran1}^{-1} x \right|^2 + \left| y_{R_kE} - \sqrt{p} H_{R_kE} H_{ran2}^{-1} x e^{j\theta_k} \right|^2 \right\} \quad (5)$$

[0050] 其中, 由于窃听节点不知道信道 $h_{SE}$ 、 $h_{SR_k}$ 和 $h_{R_kD}$ , 所以用相应的随机数 $H_{ran}$ 、 $H_{ran1}$ 和 $H_{ran2}$ 进行代替, 依次不能进行准确的译码。

[0051] 仿真结果表明, 窃听节点的误码率在任何条件下都为0.5左右, 这就意味着窃听节点几乎只能猜测源节点的信息。

[0052] 仿真实验

[0053] 情况1: 考虑中继个数为4, 调制采用PSK, 调制阶数分别为4/8/16, 所有信道的统计参数都一样, 即服从标准单位复高斯随机分布。源节点的发射功率为 $p$ , 噪声方差为1。图2为

本发明中的目的节点和窃听节点的误比特率 (BER) 曲线。由图2可知,当中继个数一定时,窃听节点的误码率为0.5左右,说明本发明能保证利用空间调制的分布式多中继系统的传输安全。

[0054] 情况2:考虑中继个数、调制阶数都在变化,图3为本发明中的目的节点和窃听节点处的BER曲线,其他参数和情况一相同。由图3可知,窃听节点处的BER一直维持在0.5左右,说明随着中继的增多,窃听者性能并没有发生变化,说明本发明能保证利用空间调制的分布式多中继系统的传输安全。

[0055] 以上内容是结合具体的优选实施方式对本发明所作的进一步详细说明,不能认定本发明的具体实施方式仅限于此,对于本发明所属技术领域的普通技术人员来说,在不脱离本发明构思的前提下,还可以做出若干简单的推演或替换,都应当视为属于本发明由所提交的权利要求书确定专利保护范围。

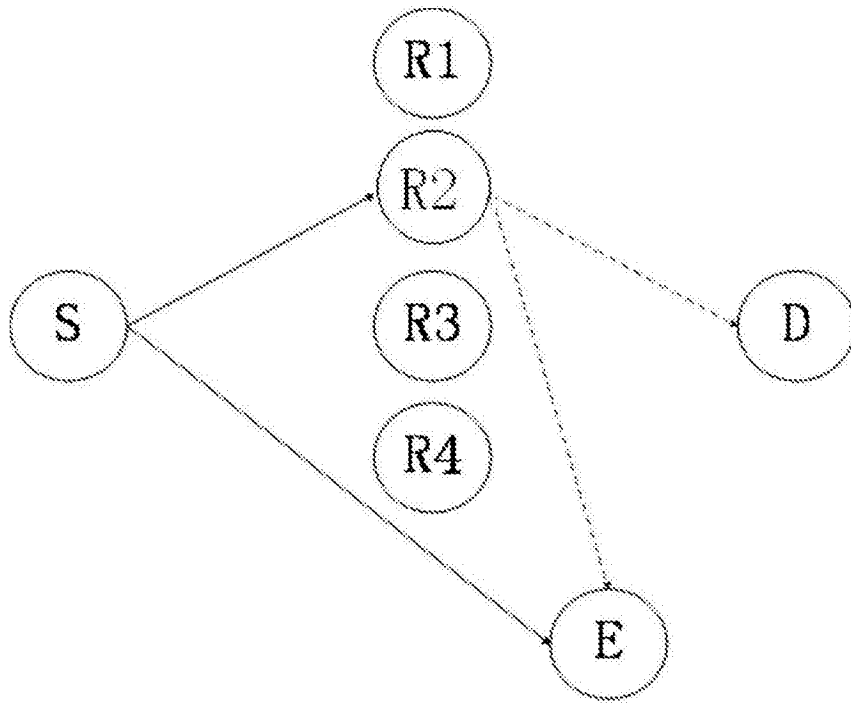


图1

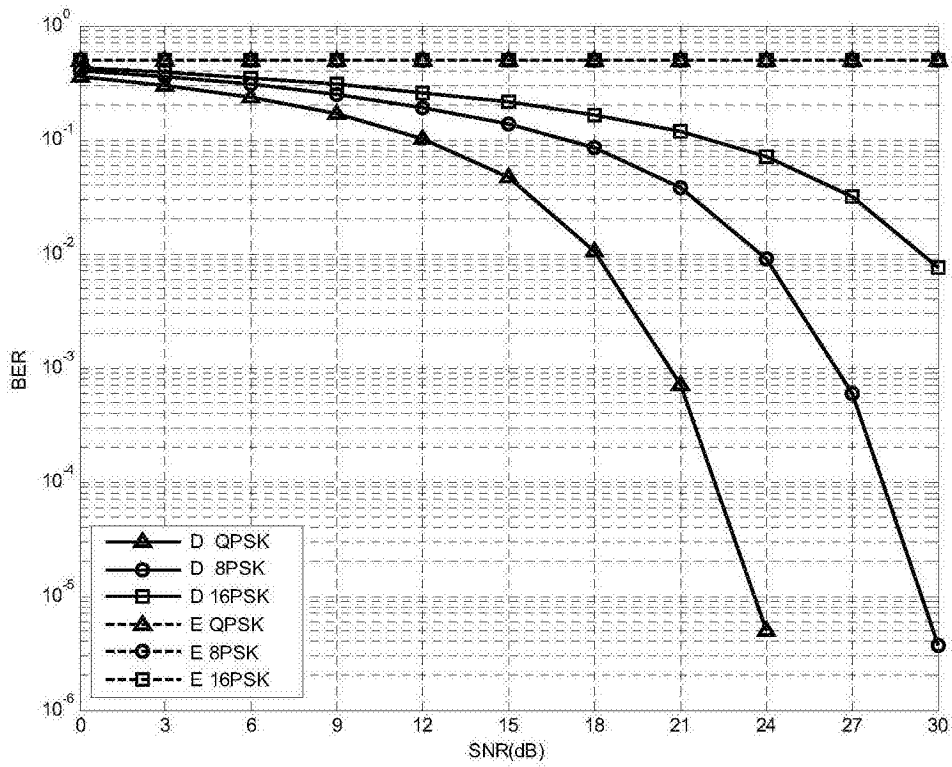


图2



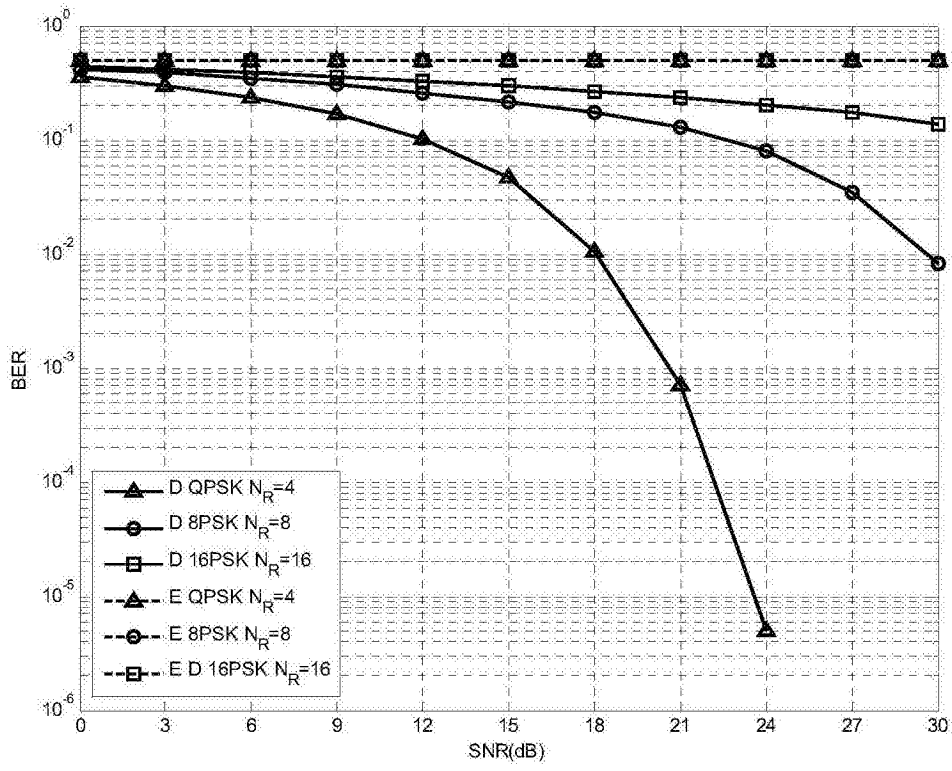


图3